

# Arquitectura e Implementación de Equipamiento Prototipo de Bajo Costo para la Medición del Diámetro de Fibras de Cabra en Campo

Rafael Zurita, Miriam Lechner, Rodolfo del Castillo, and Eduardo Aisen

Facultad de Informática y Facultad de Agronomía,  
Universidad Nacional del Comahue  
Buenos Aires 1400, Neuquén, Argentina  
{rafa,mtl,rdc,eduardo.aisen}@fi.uncoma.edu.ar  
<http://faiweb.uncoma.edu.ar>

**Resumen** La cría de cabras es una actividad económica habitual en el norte de la provincia de Neuquén. La falta de tecnología adecuada reduce las ganancias que el criancero puede obtener de la misma.

En este artículo se presenta la arquitectura de hardware y software de un prototipo real, diseñado y desarrollado para la clasificación de fibras textiles; con el objetivo de ser utilizado por el criancero directamente en el campo.

Desde la perspectiva del hardware, se evidencia la necesidad de un sistema embebido. Lo cual apunta a bajos costos de producción, robustez y movilidad. Por otro lado, desde el software, se utiliza un algoritmo con orden de tiempo de ejecución lineal, como base del procesamiento de imágenes.

Se ha evaluado el prototipo realizando mediciones de diámetro de fibras animal, y comparando los valores obtenidos contra un instrumento comercial de similares características.

El proceso de validación muestra una alta correlación entre los resultados obtenidos, así como también con los valores obtenidos al procesar imágenes de fibras artificiales. Basado en esta experiencia, y el análisis de costo/beneficio, se muestra que es posible la producción de una solución final para el criancero.

**Palabras clave:** sistema embebido, procesamiento de imágenes, fibra textil.

## 1. Introducción

Los pequeños productores en el sistema agroecológico del norte de la Provincia de Neuquén son los crianceros. A nivel local la palabra criancero denomina a un amplio conjunto de productores familiares en el que predominan productores campesinos o con rasgos campesinos y que se dedican fundamentalmente a la cría de caprinos y ovinos [1]. Viven de la producción de fibras textiles de origen animal (principalmente caprino), y no disponen de los medios técnicos y el asesoramiento profesional requerido para: i) orientar la selección animal a la

producción de vellones mas pesados y calidades de fibra de valor superior; ii) establecer objetivamente los parámetros de la calidad de la fibra, de manera de poder clasificarla para optimizar la comercialización; iii) negociar con el comprador el precio de mercado que la calidad de la fibra amerita; y iv) orientar la producción ganadera hacia aquellos biotipos mejor adaptados a la naturaleza de la región, para así poder frenar y eventualmente revertir el proceso de desertificación que las afecta [2].

Por otro lado, existen en el mercado varios equipos profesionales para la determinación de finura (desarrollados principalmente para lana) como el OFDA 2000, WoolView 20/20, LaserScan, air flow, y lanámetro, entre otros [4], [5]. De cualquier manera, la mayoría de estos equipamientos son costosos y destinados a ambientes de laboratorio, por lo que no son indicados para utilización sobre el animal [6]. WoolView 20/20 fue diseñado para trabajo en campo, pero el producto está discontinuado [7]. En este artículo se presenta la arquitectura de hardware y software de un equipamiento prototipo desarrollado en la Universidad Nacional del Comahue (por lo que se lo ha denominado “prototipo UNCOMA”) para la medición de diámetro de fibra sobre el animal en campo. Considerando al criancero como destinatario del producto final, y no un entorno de laboratorio. En tal sentido, se persiguen al menos dos objetivos que resulten en la factibilidad de uso: entrenamiento previo mínimo y, preparación sencilla de la muestra a analizar.

Los resultados muestran que el costo, performance y precisión del prototipo UNCOMA propuesto, es adecuado para la selección objetiva en origen de animales de alta producción de fibra (especialmente cashmere), lo que permitiría aumentar la producción por cabeza e incrementar los ingresos anuales del productor campesino. De este modo se podrán hacer efectivas las propuestas de manejo de la carga animal, contribuyendo así a revertir el grave problema de la desertificación.

El resto de este trabajo se estructura de la siguiente manera. En la sección 2 se describen las arquitecturas de software y hardware del equipamiento propuesto, con un énfasis en el método de medición por análisis de imagen digital. En la sección 3 presentan varios resultados experimentales, para validar el proceso de determinación de finura llevado a cabo por el prototipo UNCOMA. Por último, en la sección 4 se presentan las conclusiones y líneas de trabajo a futuro.

## 2. Arquitectura

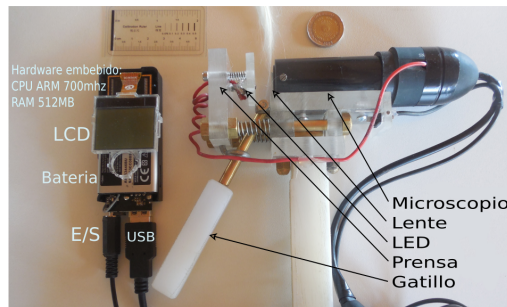
### 2.1. Arquitectura de Hardware

La arquitectura del hardware presenta dos componentes principales :

- El dispositivo de mano portátil;
- El hardware de procesamiento embebido

El dispositivo de mano portátil contiene un microscopio digital, un led de contraste, una prensa, y un mecanismo de gatillo. El microscopio es de 400

ampliaciones, modificado y calibrado. Funciona con una tensión de 5 voltios, y mecánicamente se encuentra empotrado en el dispositivo, como se observa en Figura 1.



**Figura 1.** Equipamiento prototipo UNCOMA

El mecanismo de gatillo realiza varias tareas en un único paso. Al gatillar, el operador prensa el acrílico opuesto a la óptica del microscopio, lo que produce que las fibras sean enfocadas correctamente y queden firmes. Además, al final del accionar del gatillo, se activa un interruptor digital. Este interruptor envía una señal al hardware embebido, a través de un puerto de E/S digital que dispara un evento en el sistema y activa el software de obtención de imágenes. En ese momento, el software en el hardware embebido solicita una captura de imagen digital de las fibras que el microscopio tiene enfocadas y estancadas, para luego ser procesada. La imagen digital es obtenida desde el dispositivo portátil a través de una interfaz USB 2.0, la cual interconecta ambos componentes (el dispositivo de mano y el hardware embebido).

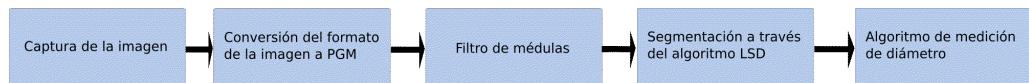
El hardware embebido es el sistema en donde se ejecuta el software que analiza la imagen digital y reporta los resultados. Contiene un System On Chip (SOC) principal Allwinner A10, con una CPU ARM de 700Mhz. La memoria principal (RAM) es de 512MB, y también cuenta con una interfaz de memoria SD en donde se ha incorporado una tarjeta microSD de 2GB. El bootloader del SOC carga, al momento de reset, el sistema operativo desde la memoria microSD, y luego el sistema operativo ejecuta la aplicación prototipo final. El SOC Allwinner también cuenta, internamente, con dispositivos de E/S (GPIO), un puerto USB 2.0, y una interfaz Wireless WiFi 802.11b/g/n.

El tamaño del hardware embebido es de 10x4x3cm, y el del dispositivo portátil es de 20x20x5cm. El peso total de todo el equipamiento es de 900gr. En cuanto al costo del equipamiento es necesario enumerar los componentes críticos de mayor precio:

1. Microscopio de 400x incorporado en el dispositivo portátil : USD 60.
2. Placa electrónica embebida, que contenga un core CPU ARM de 700Mhz+, y 256MB de RAM: USD 30.
3. Piezas mecánicas elaboradas a medida: USD 20.

## 2.2. Arquitectura de Software

A bajo nivel, el hardware embebido está controlado por el sistema operativo Debian. Particularmente, los principales drivers que se utilizan del kernel Linux son el universal video class (UVC) y la interfaz de E/S de puertos generales (GPIO) del núcleo. A través de uno de los puertos de entrada digitales (GPIO) se recibe la señal digital disparada por el dispositivo portátil. En este punto, la aplicación en espacio de usuario recibe una notificación del evento y realiza el proceso de captura y análisis digital de una imagen de fibras. El proceso general puede ser observado en la Figura 2.



**Figura 2.** Etapas de todo el proceso, llevadas a cabo por el prototipo UNCOMA.

Para la captura de la imagen, la aplicación embebida utiliza las facilidades que el kernel Linux exporta al espacio de usuario a través del driver UVC. El driver UVC que controla la captura del microscopio incorporado en el dispositivo portátil obtiene una imagen completa de las fibras en la prensa, y se la presenta a la aplicación en espacio de usuario. El formato de la imagen digital recibida es JPEG, por lo que se procede, en primera instancia, a un proceso de conversión al formato de mapa de grises portable (PGM). Esto es llevado a cabo por el conjunto de herramientas de software netpbm, y es necesario debido a que la aplicación embebida requiere este formato como entrada del algoritmo *Line Segment Detector (LSD)*. La resolución de la imagen es de 640x480 píxeles, en donde 1 píxel corresponde a 0.9743 micrones de acuerdo a la óptica y microscopio seleccionados para el prototipo.

Cada fibra contiene una médula, eventualmente la imagen capturada puede hacerla visible lo cual afecta a las mediciones. Por tal motivo se ejecuta un filtro de médula para quitarlas parcialmente. El filtro se realiza calculando la transformada de distancia para píxeles que se encuentren dentro de un rango de grises. Dicho rango fue previamente establecido y representa los valores esperables para la médula. Si la detección es positiva, se reemplaza la zona medular por píxeles que contengan un color dentro del rango de grises coincidente con fibra, que también fue previamente establecido.

Posteriormente, la aplicación utiliza el algoritmo *Line Segment Detector (LSD)* para obtener un conjunto de segmentos de línea que representan a la imagen original [8]. A partir de este conjunto se realiza la medición de diámetros de fibras según el algoritmo a continuación:

```

# Pseudocódigo del algoritmo de cálculo de diámetro medio de fibras
# ENTRADA: Conjunto de segmentos de línea (lsd_set)
# SALIDA: Mediciones y diámetro medio (mediciones_set, diametro)

```

```

mediciones = 0;
diametro = 0;
[1] FOR each segmento IN lsd_set DO
    diametro_tentativo = 0;
    mediciones_t = 0;
[2]   FOR each punto (x,y) IN inicio_medio_final(segmento) DO
        f() = perpendicular(segmento, punto);
[3]   FOR each seg2 IN lsd_set DO
        IF paralelos(segmento, seg2) AND
            ( f() == perpendicular(seg2) ) AND
            ( f(DESDA segmento HASTA seg2) == pixels_de_fibra() ) THEN
[4]           diametro_tentativo = distancia( f(DESDA segmento HASTA seg2) );
            mediciones_t++;
        END IF
    END FOR
  END FOR
[5] IF (mediciones_t >= 2) THEN
    diametro = diametro + diametro_tentativo;
    mediciones++;
    mediciones_set = add(diametro_tentativo);
  END FI
END FOR

diametro = diametro / mediciones;
RETURN mediciones_set, diametro

```

De manera general, el algoritmo busca segmentos paralelos intersectados por dos a tres perpendiculares. Interpretando esto como un segmento de fibra. Si los píxeles contenidos entre los segmentos, a lo largo de las perpendiculares, coinciden con el rango de color esperable para fibra, entonces se consideran dichas distancias como diámetros tentativos. Calculando por último el promedio de los valores obtenidos para cada segmento. Específicamente:

1. Por cada segmento de línea en el conjunto se calcula la ubicación de 3 puntos (x,y): principio medio y final.
2. Por cada punto se calcula la función de la recta perpendicular al segmento original.
3. Se recorren todos los segmentos restantes en búsqueda de aquellos que sean paralelos al segmento original, e intersectados a su vez por la perpendicular calculada en el paso anterior. Si el segmento perpendicular desde el punto origen hasta la intersección contiene puntos que no pertenecen al rango de color esperable para fibras, se descarta.
4. Si no se descarta, el segmento de línea paralelo encontrado es el borde opuesto al original de la fibra, y se procede a realizar el cálculo de distancia entre el punto original y la intersección. Esta medida es catalogada como diámetro tentativo.

5. Si al menos dos puntos obtuvieron un diámetro tentativo se establece la medición tentativa como válida, y pasa a formar parte del cálculo estadístico de media de diámetro general. Sino, el diámetro tentativo es catalogado como ruido y se descarta.

Finalmente, luego del procesamiento de segmentos de línea, se realiza el cálculo de media de diámetro general, la desviación estándar y la varianza. Los resultados son emitidos por la salida estándar, y de acuerdo a los valores, se muestra en el display LCD, del hardware embebido, la siguiente información :

- [1] diámetro medio;
- [2] porcentaje de medidas menores a 17um;
- [3] porcentaje de medidas entre 17um y 30um;
- [4] porcentaje de medidas mayores a 30um;

Toda la estadística es almacenada en el dispositivo embebido, y puede ser extraída y visualizada, a través de su conexión wireless. Adicionalmente, se ha desarrollado una interfaz gráfica (GUI) para visualizar el proceso de análisis en una PC, y corroborar fehacientemente (visualmente) que el análisis automático es correcto (que las mediciones realizadas por el software se encuentren dentro de las fibras, y sean perpendiculares a sus extremos). Esta interfaz gráfica permite también utilizar el dispositivo portátil (su microscopio) desde una notebook o PC.

Un ejemplo de análisis utilizando la interfaz gráfica se muestra en la Figura 3. A la izquierda se observa la imagen original obtenida desde el microscopio. A la derecha una representación gráfica del resultado del algoritmo de medición. Los segmentos en color rojo son mediciones finales obtenidas por el algoritmo. Esta representación visual es útil para corroborar si hubieron mediciones erróneas del software (por ejemplo, fuera de las fibras).

### 3. Resultados

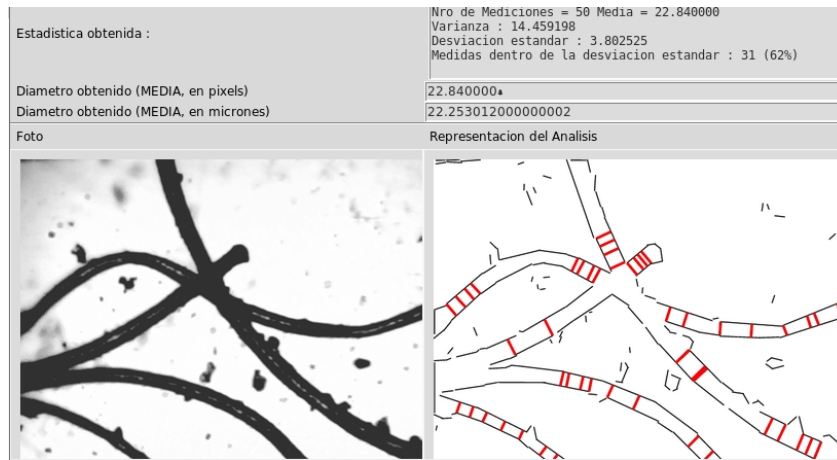
Para determinar la validez del prototipo UNCOMA se realizaron mediciones de tiempo y precisión.

El tiempo de ejecución total del prototipo es importante porque nos permite evaluar si el hardware y software son adecuados para uso cotidiano. Un dispositivo que tome un tiempo considerable en medir la finura de fibra, puede no ser indicado para un campo con mucho ganado, ya que se requeriría un mayor número de operarios y dispositivos, para realizar mediciones en paralelo. Lo cual sería costoso o incluso impracticable.

La precisión del resultado del análisis es la valuación más importante, ya que un dispositivo que realiza mediciones incorrectas o poco precisas no es confiable. Y por ende carente de valor frente al ojo experto del criancero.

#### 3.1. Orden del Tiempo de Ejecución

El costo en tiempo de ejecución se ha observado al analizar 96 muestras de fibras reales (sin contar el tiempo del operario en preparar las fibras a medir



**Figura 3.** Resultado de la medición de diámetro presentado por la interfaz gráfica.

sobre el animal). El tiempo fue medido mediante la herramienta GNU time, el cual ejecuta cada etapa y evalúa los recursos utilizados. Se observa que tanto el proceso de obtención de la imagen, como la conversión de la misma es constante. No siendo así para el análisis de la imagen mediante el software propuesto, el cual varía en el rango de (0seg..3seg]. Durante dicho análisis, el mayor costo en tiempo de ejecución es el del algoritmo LSD, que es de orden de tiempo lineal [8]. En base a esto, y al hecho de que las fotos poseen la misma resolución y, que el número de de fibras analizadas en cada medición es menor a 15 (un mayor numero de fibras distorsionaría los resultados), el tiempo de ejecución de cada medición ha sido determinado, luego de analizar 96 muestras, en un rango (0seg..3seg].

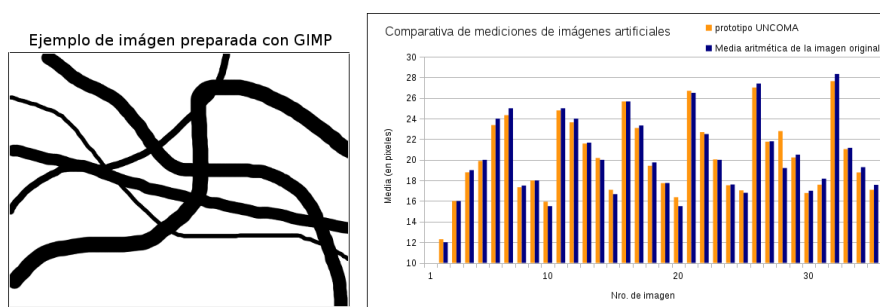
### 3.2. Precisión del proceso de análisis

Para la obtención de resultados de precisión se analizan dos clases de mediciones realizadas:

- mediciones con imágenes de fibras artificiales que contienen medidas conocidas a priori, y
- mediciones con 96 imágenes de muestras de fibras reales, de un mismo mechón, utilizando el prototipo UNCOMA y el producto comercial Wool-View 20/20. Las muestras se obtuvieron en ambos equipamientos independientemente.

**Medición de imágenes fibra artificiales** Se han confeccionado 74 imágenes de fibras artificiales mediante el software de manipulación de imágenes GIMP. Las imágenes contienen entre 1 y 7 líneas negras (fibras artificiales) de orientación y sentidos aleatorios. Cada línea tiene un grosor conocido a priori y documentado

en toda su extensión. Por ejemplo, en la Figura 4 se observa, a la izquierda, una imagen con 5 fibras artificiales, cada una de un grosor definido en toda su extensión. Los diámetros seleccionados para las líneas se encuentran entre los 10 píxeles de grosor y los 40 píxeles. La media observada manualmente para cada imagen es calculada como la sumatoria de las medidas de cada línea en la imagen sobre la cantidad de líneas. En la Figura 4 se observan, a la derecha, los resultados de 35 de las 74 mediciones realizadas por el prototipo UNCOMA a las imágenes preparadas. Junto a cada barra de la media calculada por el software se muestra la media calculada a priori, en base a las medidas de las líneas dibujadas con el programa GIMP.



**Figura 4.** Izq: Una imagen artificial. Der: Mediciones realizadas a las imágenes.

**Medición de imágenes de fibra reales** Para el análisis del software propuesto se realizó una comparativa de medición entre el prototipo UNCOMA y el equipamiento WoolView 20/20. WoolView 20/20 es un dispositivo comercial para la medición de fibras de lana con precisión menor a un micrón, el cual puede analizar las muestras sin quitar las fibras del animal.

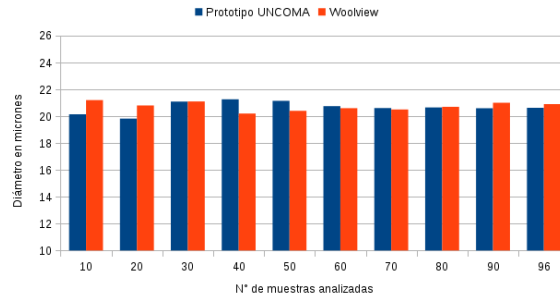
Con el prototipo UNCOMA se analizaron 96 muestras obtenidas de un mismo mechón de animal. Estas muestras fueron almacenadas para ser publicadas en conjunto con este trabajo. Se desarrolló un script por lotes que secuencialmente analiza cada una de estas muestras almacenadas, utilizando el software prototipo. La estadística de cada foto digital analizada es almacenada en un archivo separado. Tanto las muestras originales como el resultado de cada medición de diámetro a través del software del prototipo puede obtenerse de [3].

La medición utilizando el equipamiento WoolView 20/20 fue realizada por un operario diferente al que realizó la medición con el prototipo UNCOMA. Utilizando el mismo mechón de animal se realizaron 96 mediciones con WoolView 20/20. Este equipamiento acumula la estadística, por lo que se obtuvieron los detalles de las estadísticas intermedias cada 10 mediciones.

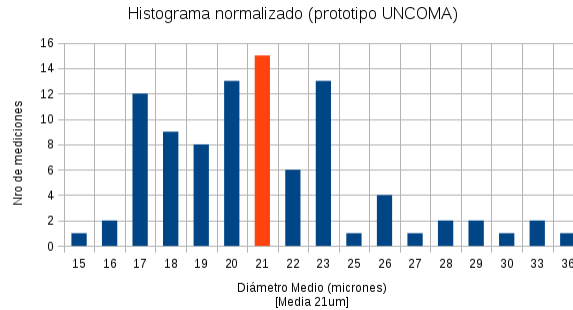
En la Figura 5 se observan los resultados de las mediciones intermedias de ambos equipamientos. El diámetro medio final obtenido por el prototipo propuesto



es de 20,6263 micrones (en la Figura 6 se observa el histograma normalizado de todas las mediciones). El diámetro medio obtenido con el equipamiento WoolView 20/20 es de 20,9 micrones. En la tabla (1) se observan las estadísticas finales de ambos equipamientos.



**Figura 5.** Comparativa acumulativa de 96 mediciones utilizando dos equipamientos : prototipo UNCOMA y WoolView 20/20. La diferencia de la media de diámetro entre ambos equipos va disminuyendo a medida que se realizan mayor cantidad de mediciones sobre el mismo mechón de fibras. Luego de 20 mediciones la diferencia es menor a un micrón. Luego de 50 mediciones la diferencia es menor a 0.5 micrones.



**Figura 6.** Histograma de las 96 mediciones realizadas con el prototipo UNCOMA.

#### 4. Conclusiones y Trabajo Futuro

En este trabajo se presenta la arquitectura de un sistema prototipo funcional de bajo costo, para la determinación de finura de la fibra de cabra. Se ha validado la precisión del instrumento a partir de la medición del diámetro de imágenes de

	prototipo UNCOMA	WoolView 20/20
Nro. de imágenes analizadas	96	96
Diámetro Medio	20,6263	20,9
Coefficiente de confort	91,6 %	91 %
Desvío estándar	4,03um	5,5um
Coefficiente de variación	19,5 %	27 %
Muestras dentro del DE	82 %	No reportado

**Tabla 1.** Estadística global de ambos equipamientos luego de finalizar las mediciones.

fibras artificiales; y también de muestras de fibras reales. Comparando las últimas con las mediciones obtenidas por otro equipamiento profesional de similares características. Los resultados muestran que la diferencia entre ambos equipamientos es menor a un micrón cuando se realizan, al menos, diez mediciones. El peso y tamaño del equipamiento permiten al operador utilizar el equipamiento a mano alzada, tomando capturas de las muestras de fibra directamente sobre el animal, en el campo. La preparación de las fibras sobre el animal o en laboratorio es un proceso que se encuentra en el orden de los minutos, por lo que el tiempo observado para la medición de diámetro (en el orden de los segundos) no es significativo.

En adelante se pretende realizar la validación del prototipo UNCOMA, con respecto a resultados obtenidos por instrumentos de laboratorio como OFDA 2000. Por otra parte se investigan nuevas técnicas de procesamiento y filtrado de las imágenes, que reduzcan la cantidad de muestras descartadas debido a la falta de foco.

## Referencias

1. Bendini, M.: Chapter 8. Transhumant Communities and Agroecosystems in Patagonia. Interactions Between Agroecosystems and Rural Communities. Cornelia Flora (2001). ISBN: 978-0-8493-0917-5
2. Bendini, M., Tsakoumagkos, P., Nogues, C.: Los crianceros trashumantes en Neuquén. Grupo de Estudios Sociales Agrarios (GESA), UNCOMA (2005) [http://investigadores.uncoma.edu.ar/cehepyc/publicaciones/Los\\_trashumantes\\_en\\_Neuquen.pdf](http://investigadores.uncoma.edu.ar/cehepyc/publicaciones/Los_trashumantes_en_Neuquen.pdf)
3. Banco de imágenes de fibras experimentales UNCOMA, <http://se.fi.uncoma.edu.ar/fibraimg/>
4. OFDA 4000 instrument, [http://www.ofda.com/Natural\\_fibres/Ofda4000.html](http://www.ofda.com/Natural_fibres/Ofda4000.html)
5. Sirolan Laserscan, <http://www.itecinnovation.com/productDetails.php?id=52>
6. Baxter, P.: Comparisons between OFDA, Airflow and Laserscan on raw merino wool. International Wool Textile Organization. 2002.
7. WoolView 20/20 portable device, [https://web.archive.org/web/20041102185907/http://www.woolview.com/Product1\\_2.htm](https://web.archive.org/web/20041102185907/http://www.woolview.com/Product1_2.htm)
8. Grompone, R., Jakubowicz, J., Morel, J., Randall, G.: LSD: a Line Segment Detector, Image Processing On Line, 2 (2012), pp. 35–55. <http://dx.doi.org/10.5201/ipol.2012.gjmr-lsd>